

KFKI-1980-71

Г. ВЕСТЕРГОМБИ

Д. КИШ

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ПУЧКАХ
МЕЧЕНЫХ НЕЙТРИНО

Hungarian Academy of Sciences

**CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS**

BUDAPEST

2017

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ПУЧКАХ
МЕЧЕНЫХ НЕЙТРИНО

Г. Вестергомби, Д. Киш

Центральный институт физических исследований
Н-1525 Будапешт 114, П/Я 49, Венгрия

*Доклад на семинаре по физической программе
нейтринного детектора, Дубна, 3-5 января 1980 г.*

АННОТАЦИЯ

Отмеченные нейтрино могут возникать из распадов заряженных (π^\pm , K^\pm) или из нейтральных (K_L^0) мезонов. В докладе сравниваются недостатки и преимущества этих методов. На основе монте-карловских расчетов кажется, что такие эксперименты могут быть проведены в недалеком будущем.

ABSTRACT

Neutrinos emerging from charged (π^\pm , K^\pm) or neutral K_L^0 meson beams can be tagged. In this talk the advantages and disadvantages of these methods are discussed. Using Monte-Carlo calculations one can conclude that such experiments seem to be feasible in the near future.

KIVONAT

"Tagged" neutrínó nyalábot forrásként szolgáló töltött (π^\pm , K^\pm) vagy semleges K_L^0 mezonok bomlásainak a neutrínó kölcsönhatásával egyidőben való megfigyelésével lehet előállítani. Az előadásban összehasonlítjuk ezen módszerek előnyeit és hátrányait. Monte-Carlo számítások alapján megbecsülve a várható intenzitást azt a következtetést lehet levonni, hogy a nem túl távoli jövőben ilyen kísérletek ténylegesen realizálhatók lesznek.

В настоящее время создание нейтринных пучков стало такой же стандартной процедурой, как и манипуляция с обычными частицами. Все-таки остались некоторые недостатки современных нейтринных пучков. Они имеют довольно большой разброс по энергии /даже в случае так называемых моно- или дихроматических пучков/ и некоторую неопределенность по типам нейтрино. В развитии техники нейтринной физики следующим логичным шагом является создание меченых нейтринных пучков, каким-то образом следуя примеру фотонных пучков.

Не забывая об огромных технических трудностях, надо задать вопрос: для чего требуются меченые нейтрино?

Во-первых: для экспериментов, где точное знание энергии падающих нейтрино, E_ν играет существенную роль, например:

а/ Изучение тонкой структуры полного сечения взаимодействия или отношения нейтрального тока к заряженному

$$R = \sigma_{NC}(E_\nu) / \sigma_{CC}(E_\nu).$$

б/ В эксклюзивных реакциях можно наблюдать лепто-кварковые объекты, распавшиеся по каналам $X \rightarrow \nu + q$, аналогично с W бозонами:

$$W \rightarrow e + \nu_e.$$

Во вторых: для экспериментов, где требуются точные знания типа нейтрино (e, μ , τ ...), например:

а/ Систематическое изучение e - μ универсальности по отдельным взаимодействиям, сравнивая реакции $\nu_e N \rightarrow \nu_e X$ и $\nu_\mu N \rightarrow \nu_\mu X$.

б/ Поиск осцилляции ($\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$, $\nu_e \leftrightarrow \nu_\tau$, $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$, $\nu_e \leftrightarrow ?$...).

По нашему определению нейтрино называется меченым, если при отдельных взаимодействиях регистрируется не только взаимодействие нейтрино, но и информация о рождении самого взаимодействующего

нейтрино. Из этого следует: сколько существует разных источников, столько и разных видов меченых пучков. Как пример, для сравнения мы обсудим два возможных случая: с одной стороны, мечение из распада $\pi \rightarrow \mu \nu$ и, с другой стороны, из распада $K_L^0 \rightarrow \pi \ell \nu_\ell$ /где ℓ означает электрон или мюон/. Для простоты предположим, что:

- а/ первичные частицы, т.е. пионы и каоны, генерируются с помощью фокуссированного пучка протонов, брошенных на "точечную мишень", т.е. Т, точка рождения π/K мезонов, известна с достаточной точностью,
- б/ V, точка взаимодействия нейтрино в нейтринном детекторе, тоже определяется с достаточной точностью и, таким образом может быть использована для вычисления параметров нейтрино,
- в/ в распадном объеме не используются магнитные элементы. Таким образом траектории вторичных заряженных частиц из распада π/K представляются прямыми линиями. Это существенно упрощает реконструкции треков в координатных детекторах, но мы получаем информацию только о направлении полета заряженных частиц.

Система мечения схематично показана на рис. 1а /1б/ в случае источника нейтрино $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu$ ($K_L^0 \rightarrow \pi \ell \nu_\ell$). Преимущества и недостатки отдельных методов перечисляются ниже:

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \bar{\nu}_\mu$$

$$K_L^0 \rightarrow \pi^\pm \ell^\mp \bar{\nu}_\ell$$

Кинематика

С нейтринным взаимодействием в точке V одновременно регистрируется траектория мюона, родившегося вместе с нейтрино. Зная Т точку рождения пиона направления полета π , μ , ν частицы задаются как функция координаты Z_D , места распада пиона:

$$\vec{U}_\pi(Z_D), \vec{U}_\mu(Z_D), \vec{U}_\nu(Z_D).$$

Взаимодействие нейтрино сопровождается "вилкой" лептона и пиона в распадном объеме. Зная Т, V и D, вершину $\pi\ell$ -вилки, можно непосредственно получить направление полета для всех участвующих частиц:

$$\vec{U}_K, \vec{U}_\pi, \vec{U}_\ell, \vec{U}_\nu.$$

Сохранение импульса-энергии дает 4 уравнения для 4 неизвестных параметров $/Z_D, P_\pi, P_\mu, P_\nu/$:

$$P_\pi \vec{U}_\pi(Z_D) = P_\mu \vec{U}_\mu(Z_D) + P_\nu \vec{U}_\nu(Z_D)$$

$$\sqrt{P_\pi^2 + m_\pi^2} = \sqrt{P_\mu^2 + m_\mu^2} + P_\nu$$

Обращая внимание на то, что в первичном пучке пионы практически неотделимы от каонов, в общем получается два решения, потому что может оказаться, что первичная частица была каоном.

Используя более детальную информацию от ν -детектора /например, видимая энергия и кажущееся направление взаимодействующего $\nu/$, эти неоднозначности могут быть устранены.

Интенсивность первичного пучка при 10^{12} взаимодействующих протонов при энергии 70 ГэВ

$$I_\pi \gtrsim 3 \cdot 10^{12} \text{ пионов/цикл}$$

$$I_K \sim 6 \cdot 10^{10} \text{ каонов/цикл}$$

Загрузка в распадном объеме

Координатные детекторы загружаются самым первичным пучком. Это очень сильно ограничивает максимально разрешимую интенсивность протонов и, в конечном счете, интенсивность меченых нейтрино.

Сохранение импульса-энергии дает:

$$P_K \vec{U}_K = P_\pi \vec{U}_\pi + P_\ell \vec{U}_\ell + P_{\nu_\ell} \vec{U}_{\nu_\ell}$$

$$\sqrt{P_K^2 + m_K^2} = \sqrt{P_\pi^2 + m_\pi^2} + \sqrt{P_\ell^2 + m_\ell^2} + P_{\nu_\ell}$$

где имеется 4 неизвестных:

$$P_K, P_\pi, P_\mu, P_\nu.$$

Это, естественно, предполагает, что идентифицируется наличие лептона и определяется его тип, т.е. требуется детектор электронов и/или мюонов. При отсутствии такой идентификации получается 4 решения для P_{ν_ℓ} , соответствующего различным комбинациям.

Координатные детекторы загружаются только вторичными заряженными частицами из распадов K_L^0, K_S^0, Λ и из взаимодействий фотонов и нейтронов. При использовании специальных фильтров доля γ и n фона существенно уменьшается, и мощный очи-

шающий магнит в начале распад-
ной базы эффективно выбрасыва-
ет продукты K_S^0 и Λ распадов.

Триггер

Используется двухкратное со-
впадение между μ и ν_μ .

Трехкратное совпадение между
вилкой (π, ℓ) и ν_ℓ дает больше
подавления против случайных
совпадений.

Тип нейтрино

В основном получается толь-
ко мюнное нейтрино.
Мечение $K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \bar{\nu}_e$ примеси
требует специального обору-
дования.

Одновременно получаютс 4 раз-
ных типа нейтрино с приближи-
тельно одинаковой интенсивно-
стью $(\nu_e, \bar{\nu}_e)$ и $(\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu)$. Для
того, чтобы отличить ν от $\bar{\nu}$,
требуется измерение знака леп-
тона!

Так как в настоящее время возрос интерес к экспериментам с
электронным нейтрино, здесь более подробно изучим возможности ме-
чения нейтрино из распада K_L^0 . Монте-Карловские расчеты были про-
ведены с помощью упрощенного варианта установки. Не принимая во
внимание фоновые процессы, обусловленные $n, \gamma, K_S^0, \Lambda, D, F, \dots$
частицами, предположим, что из протонной мишени вылетают только K_L^0
мезоны. Расчеты были завершены на основе двух вариантов распадной
базы: длинной ($L_D^{LONG} = 250$ м) и короткой ($L_D^{SHORT} = 50$ м).

В конце распадной зоны стоит координатный детектор /в данный
момент его специфика не важна/ размером 4×4 м². После защиты рас-
полагается ν - детектор длиной $\ell = 15$ м с поперечным размером
 4×4 м². Расстояние между началом координатного детектора и перед-
ним краем ν - детектора составляет $L_S = 50$ м.

Предполагаем, $N_p = 10^{12}$ взаимодействующих протонов /цикл, дли-
тельность растяжки /spill time/ равно 1 сек. При энергии 70 ГэВ по
формуле Хагедорна получается $N_{K_L^0} = 6 \times 10^{10}$ каонов/сек. На длинной
/короткой/ распадной базе из этих каонов распадается $N_{DEC}^{LONG} = 3 \times 10^{10}$

($N_{DEC}^{SHORT} = 10^{10}$). Из вторичных заряженных частиц (π^{\pm} , e^{\pm} , μ^{\pm}) $N_{SINGLE}^{LONG} = 2,4 \times 10^9$ ($N_{SINGLE}^{SHORT} = 4 \times 10^9$) пересекает координатный детектор так, что другая частица, принадлежащая к вилке, проходит мимо них. Полная вилка регистрируется в $N_{PAIR}^{LONG} = 2,6 \times 10^8$ ($N_{PAIR}^{SHORT} = 4 \times 10^9$) случаях.

Из этих пар N_{PAIR}^{LONG} и (N_{PAIR}^{SHORT}) $N_{TAG}^{LONG} = 4 \times 10^7$ ($N_{TAG}^{SHORT} = 5 \times 10^8$) будет такой случай, когда ν - вилка сопровождается нейтрино, переходящим через ν - детектор. Энергетический спектр меченых нейтрино показан на рис. 2.

Соответствующая светимость будет:

$$L = N_{TAG} * \rho * \ell * N_{AV} = 3,6 * 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} (= 45 * 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}),$$

где $\ell = 15$ м - длина ν - детектора, $\rho = 1$ г/см³ - средняя плотность.

Это означает, что число меченых взаимодействий в день будет:

$$N_{day}^{LONG} = L^{LONG} \bar{\sigma}_{LONG} N_{BURST} = 14 \text{ events/day} \quad (\bar{\sigma}_{LONG} = 4 \times 10^{-38} \text{ см}^2)$$

$$N_{day}^{SHORT} = L^{SHORT} \bar{\sigma}_{SHORT} N_{BURST} = 90 \text{ events/day} \quad (\bar{\sigma}_{SHORT} = 2 \times 10^{-38} \text{ см}^2),$$

где $\bar{\sigma}_{LONG}$ ($\bar{\sigma}_{SHORT}$) - среднее сечение для нейтринных взаимодействий и число циклов ускорителя - $N_{BURST} = 10^4$ /день.

В заключении можно сказать, что светимость установки кажется разумной, но реализация детектора мечения в настоящее время немножко превышает технические возможности, потому что требуются координатные детекторы, выдерживающие интенсивности $10^5 - 10^6$ частиц/см² сек и временное разрешение на уровне 100 псек, но такие требования могут быть удовлетворены в недалеком будущем.

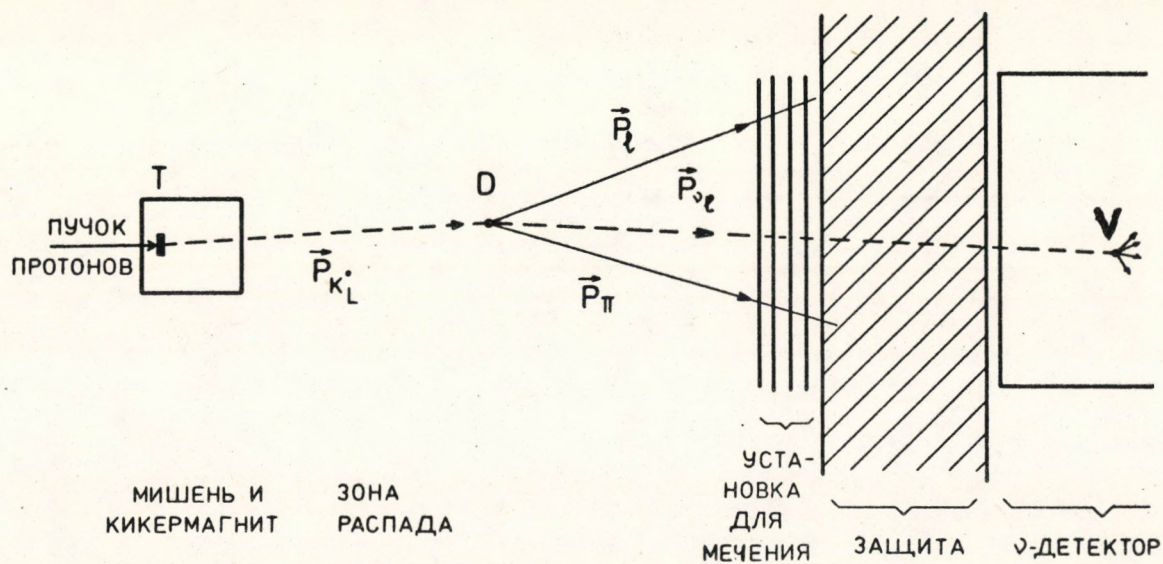


РИС. 1. б,

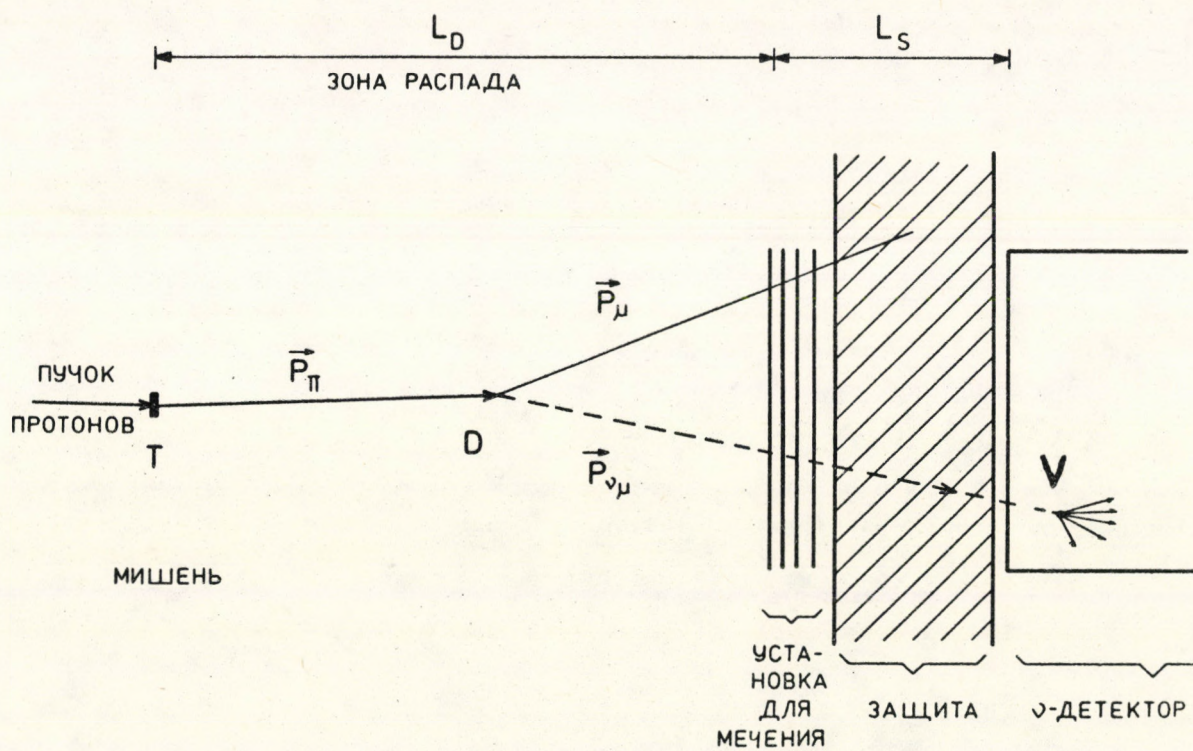


РИС. 1. а.

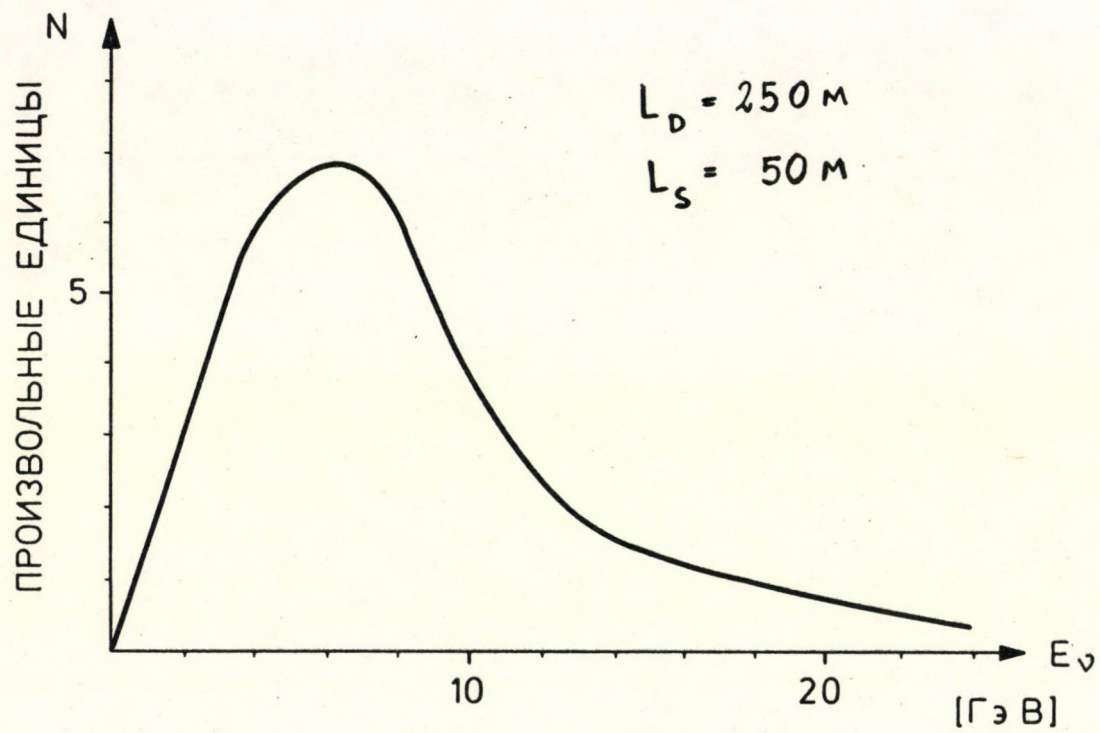
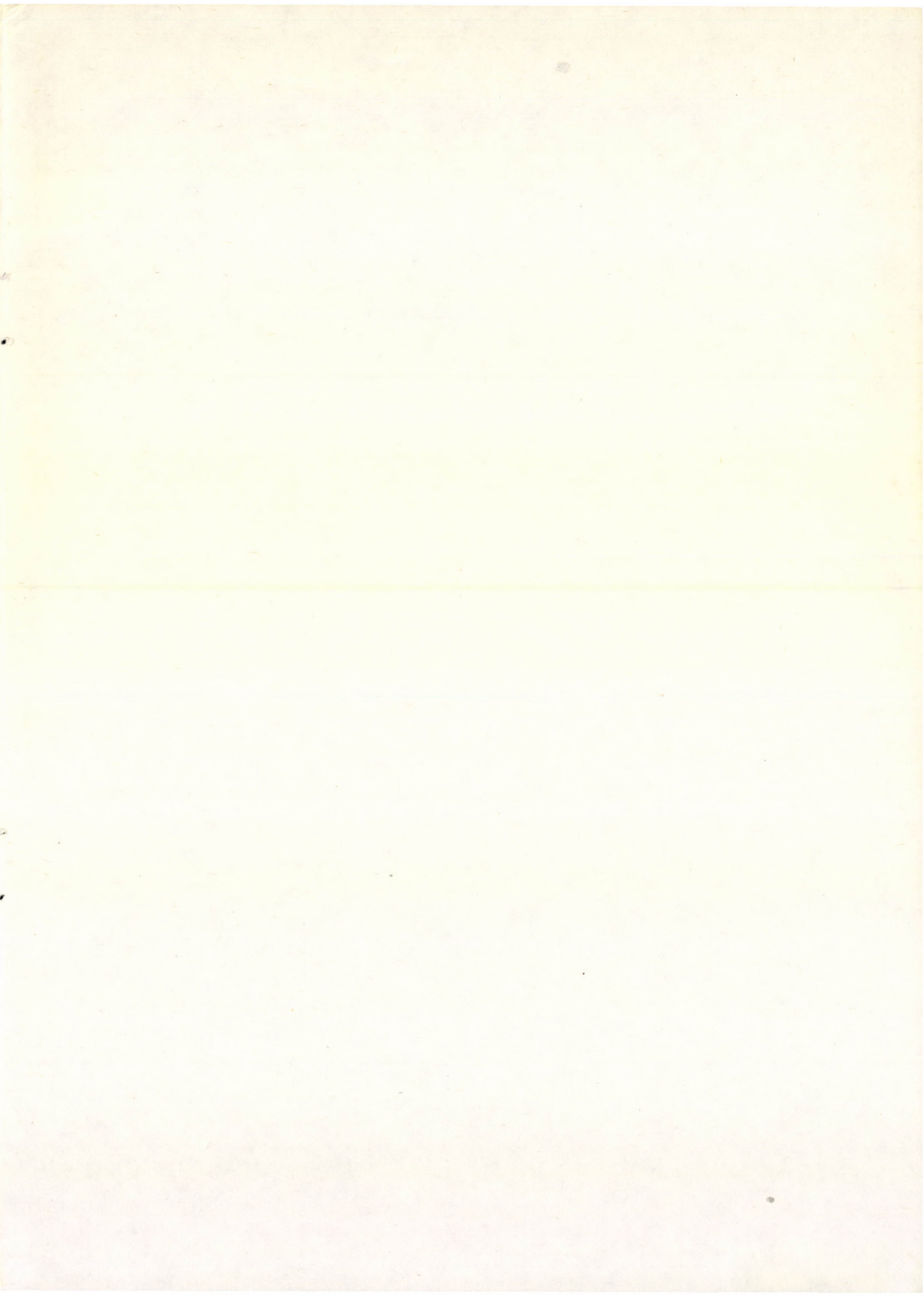
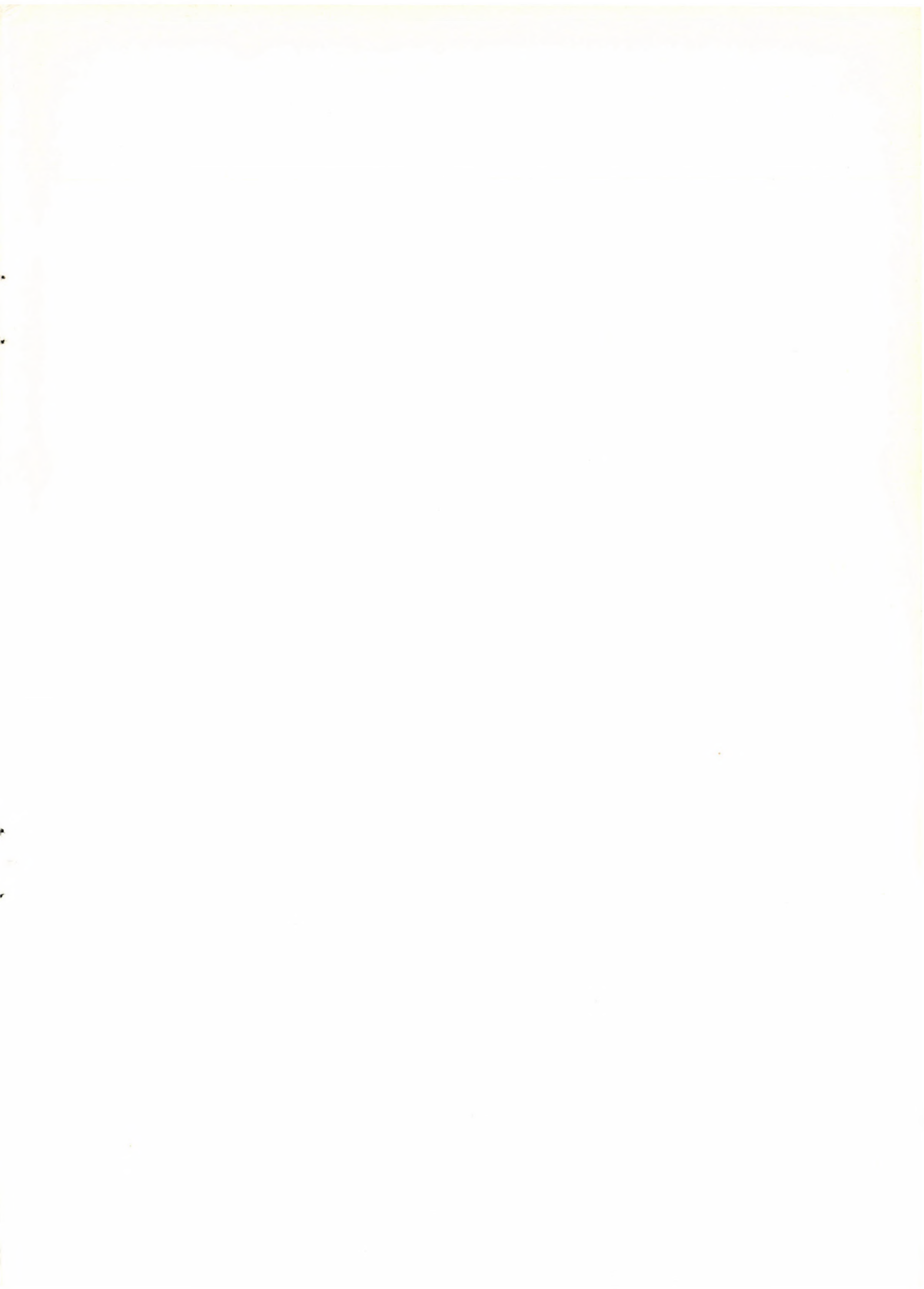


РИС.2.
СПЕКТР МЕЧЕНЫХ НЕЙТРИНО





~~60~~

63.047



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Szegő Károly
Szakmai lektor: Urbán László
Nyelvi lektor: Krasznovszky Sándor
Példányszám: 170 Törzsszám: 80-591
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Budapest, 1980. október hó